



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS ERECHIM
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

FELIPE MATTÉ

**DETERMINAÇÃO PRELIMINAR DOS PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA AO
CISALHAMENTO DE UM SOLO RESIDUAL DO CAMPUS UFFS – ERECHIM/RS**

**ERECHIM
2017**

FELIPE MATTÉ

**DETERMINAÇÃO PRELIMINAR DOS PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA AO
CISALHAMENTO DE UM SOLO RESIDUAL DO CAMPUS UFFS – ERECHIM/RS**

Projeto de Pesquisa apresentado na Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental sob a orientação do Prof. M.Sc. Pedro Eugênio Boehl.

ERECHIM
2017

ERRATA

FELIPE MATTÉ

**DETERMINAÇÃO PRELIMINAR DOS PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA AO
CISALHAMENTO DE UM SOLO RESIDUAL DO CAMPUS UFFS – ERECHIM/RS**

Projeto de Pesquisa apresentado na Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental sob a orientação do Prof. M.Sc. Pedro Eugênio Boehl.

Aprovada em ____/____/____

Banca Examinadora:

Prof. M.Sc. Pedro Eugênio Gomes
Boehl.
UFFS – Erechim

Prof. Dr. Eduardo Pavan Korf
UFFS – Erechim

Prof. Dr. Paulo Afonso Hartmann
UFFS – Erechim

Dedico esse trabalho primeiramente a Deus, ao Prof. M. Sc. Pedro Eugênio Boehl pela paciência, incentivo e parceria na orientação que tornaram possível a conclusão deste trabalho, a minha família que sempre desejou minha vitória, me apoiando e me incentivando, e a todos amigos que fiz e que de uma forma ou outra me ajudaram nesse percurso acadêmico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meus pais, minha irmã e minha avó que de algum modo me ajudaram, incentivaram e desejaram minha vitória.

Agradeço a ao Prof. M. Sc. Pedro Eugênio Boehl pela paciência, incentivo e parceria na orientação que tornaram possível a conclusão deste trabalho.

Agradeço a todos que de alguma forma colaboraram para realização do trabalho.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo principal a obtenção dos parâmetros intrínsecos de resistência ao cisalhamento de um solo residual basáltico da Universidade Federal da Fronteira Sul – Campus Erechim, característico da região. Os ensaios propostos para a pesquisa foram realizados de forma satisfatória em laboratório. Foram obtidos os seguintes valores como parâmetros de resistência ao cisalhamento: ângulo de atrito interno de $17,74^\circ$ e intercepto coesivo de 10,4 kPa. Estes parâmetros foram determinados através do ensaio de cisalhamento direto a partir de uma amostra de solo indeformada sobre condições de consolidação e ruptura inundadas, com cisalhamento de forma lenta.

Palavras-chave: Cisalhamento. Intercepto coesivo. Ângulo de atrito interno.

ABSTRACT

The main objective of this work is to obtain the intrinsic parameters of shear strength of a residual basaltic soil of the Federal University of the Southern Frontier - Erechim Campus, characteristic of the region. The tests proposed for the research were performed satisfactorily in the laboratory. The following values were obtained as parameters of shear strength: internal friction angle of 17.74° and cohesive intercept of 10.4kPa. These parameters were determined by the direct shear test from an undisturbed soil sample under shear and slowly burst conditions.

Keywords: Shearing. Cohesive intercept. Internal friction angle.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Força normal, tangencial, força resultante entre a normal e tangencial e o ângulo de atrito formado.....	18
Figura 2 - Representação do critério de ruptura de Coulumb.....	20
Figura 3 - Representação do critério de ruptura de Mohr.....	20
Figura 4 - Representação de um ensaio de cisalhamento direto.....	21
Figura 5 – Esquema da máquina de cisalhamento direto.....	21
Figura 6 - Representação das províncias geológicas e geomorfológicas do estado do RS.....	26
Figura 7 – Representação do ponto de coleta e croqui do ponto de amostra.....	26
Figura 8 –Imagem ilustrativa do equipamento de cisalhamento direto em solos marca PAVITEST.....	31
Figura 10 –Coleta de amostra em campo.....	31
Figura 11 –Moldando o corpo de prova em laboratório (A). Amostra moldada no corpo de prova metálico (B).....	32
Figura 12 – Amostra alocada na caixa de cisalhamento.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Síntese de trabalhos análogos.....	24
Tabela 2 – Síntese de trabalhos análogos (continuação da tabela 2).....	25
Tabela 3 - Resultados médios dos índices físicos do solo no ponto coletado.....	28
Tabela 4 - Resultados de distribuição granulométrica.....	28
Tabela 5 - Resultados dos limites de Atterberg.....	29
Tabela 6 - Valores de tensão cisalhante, deslocamento horizontal e força normal aplicadas no ensaio de cisalhamento direto.....	34

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Reta que representa a resistência ao cisalhamento do solo inundado segundo o critério de Coulomb e os parâmetros de cisalhamento.....35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UFFS – UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL

NBR – NORMA BRASILEIRA

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PESQUISA MINERAL

PMSB – PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO

C – CLAY – ARGILA

M – MOM – SILTE

S – SAND – AREIA

G- GRAVEL - PEDREGULHO

LISTA DE SÍMBOLOS

- τ_R – Tensão de ruptura
- c – Intercepto coesivo
- $\sigma_n = \sigma_N$ – Tensão Normal
- tg – Tangente de um ângulo
- ϕ – Ângulo de atrito interno
- $kPa = kN/m^2$ – Kilo-Pascals
- N – Força Normal
- T – Força Tangencial
- R – Força Resultante
- f – Constante do material
- $\tau_{m\acute{a}x}$ – Tensão máxima durante o ensaio
- τ_{res} – Tensão residual durante o ensaio
- d – Deformações
- LL – Limite de liquidez
- LP – Limite de plasticidade
- IP – Índice de plasticidade
- w - Teor de umidade
- γ_{nat} – Peso específico natural
- γ_s – Peso específico seco
- γ_g – Peso específico das partículas sólidas
- e – Índice de vazios
- S_r – Grau de saturação
- ρ - Densidade das partículas
- IA – Índice de atividade
- ΔH – Deformações horizontais
- kgf/cm^2 – Kilograma-força por centímetros quadrados
- R^2 - Coeficiente de Pearson
- y – variável dependente
- x – variável independente

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. JUSTIFICATIVA	16
3. OBJETIVOS	17
3.1 Objetivo Geral	17
3.2 Objetivo Específico	17
4. REFERENCIAL TEÓRICO	18
4.1 Resistência ao cisalhamento	18
4.1.1 Definição	18
4.1.2 Atrito	18
4.1.3 Coesão	19
4.1.4 Crítérios de ruptura	19
4.2 Ensaio de cisalhamento direto	20
4.3 Comportamento de alguns tipos de solo	21
4.3.1 Solo Argiloso	21
4.3.2 Solo Arenoso	22
4.3.3 Solo Residual basáltico	22
5. MATERIAIS E MÉTODOS	25
5.1 Área de estudo	25
5.2 Caracterização da área estudada	27
5.3 Índices físicos do solo	28
5.4 Equipamento de cisalhamento direto	29
5.5 Ensaio de cisalhamento	31
5.6 Determinação dos parâmetros de cisalhamento	33
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
6.1 Ensaio de cisalhamento direto	34
7. Conclusão	38

1. INTRODUÇÃO

Para Boehl (2010) “os solos são os resíduos das rochas, devido à ação do intemperismo. Quando estes resíduos, não sofrem ação de algum agente de transporte, permanecem ao entorno da rocha matriz, formando mantos de solos residuais”.

Oliveira (2011) relata que solos residuais abrangem cerca de 38% da superfície terrestre. A partir disto diferentes tipos de obras de engenharia são executadas sobre estas camadas, merecendo um conhecimento mais aprimorado sobre o comportamento deste tipo de solo.

Segundo Zanardo (2014), quando se trabalha com obras de engenharia que envolva geotecnia, deve-se atentar a uma questão importante que envolve ruptura dos solos, implicando em consequências catastróficas que envolvem fatores sociais, econômicos e ambientais.

Segundo Pinto (2006) a ruptura dos solos é quase sempre um fenômeno de cisalhamento, que acontece, por exemplo, quando uma sapata de fundação é carregada até ruptura ou quando ocorre um escorregamento de um talude. A resistência ao cisalhamento de um solo define-se como a máxima tensão de cisalhamento que o solo pode suportar sem sofrer ruptura, ou tensão de cisalhamento no plano em que a ruptura ocorrer (PINTO, 2006). GUIDICINI; NIEBLE (1983) apud ZANARDO (2014) definem que para a ocorrência da ruptura do solo é necessário que a relação entre a resistência média ao cisalhamento do solo e as tensões médias na superfície potencial de movimentação decresçam de tal forma a se tornarem menor que 1, de tal forma que as tensões na superfície sejam maiores que a resistência ao cisalhamento.

A mecânica dos solos desenvolveu-se muito através da Teoria de Terzaghi (1940) aplicadas a solos sedimentares, principalmente no hemisfério Norte. Quando os problemas geotécnicos envolvem solos residuais, a aplicação da teoria clássica, muitas vezes já não é diretamente, devido às particularidades que diferenciam os solos residuais dos sedimentares.

2. JUSTIFICATIVA

Os solos residuais não possuem um comportamento semelhante aos solos sedimentares, principalmente no que tange a resistência ao cisalhamento, permeabilidade e deformabilidade. Estes solos diferem do comportamento clássico esperado pela mecânica dos solos baseada nos conceitos de Karl Terzaghi (1940). Estas divergências se devem, basicamente devido à condição de formação geológica diferenciada e a intensa presença das propriedades hereditárias da rocha matriz nos solos residuais formados em seu entorno.

Observa-se que na região Norte do Estado do Rio Grande do Sul, existem poucos estudos referentes aos parâmetros de cisalhamento do solo residual basáltico, mais especificamente na cidade de Erechim não existe nenhum estudo disponível. Dessa forma, os resultados obtidos nessa pesquisa devem gerar parâmetros importantes no cenário da geotecnia.

Neste sentido essa pesquisa se justifica, pois além da carência em análises e pesquisas sobre solos residuais, ocorre concomitantemente, um avanço descontrolado das regiões metropolitanas, sobre regiões constituídas por solos residuais, aumentando assim o interesse sobre as propriedades destes materiais em obras geotécnicas.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral determinar a resistência ao cisalhamento do solo estudado, através de uma amostra indeformada de um solo residual, e realizar uma breve comparação entre estes valores e alguns dados obtidos por outras pesquisas em solos semelhantes.

3.2 Objetivo específico

Determinar a resistência de um solo residual, através do ensaio de cisalhamento direto, mais especificamente dos parâmetros de resistência ao cisalhamento: intercepto coesivo e ângulo de atrito interno, obtidos através da reta de Coulomb. Realizando ensaios com amostras indeformadas em condições consolidadas e inundadas e cisalhamento lento. Além da obtenção de dados ainda desconhecidos e importantes, em termos de resistência ao cisalhamento para os solos residuais da região em estudo.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Resistência ao cisalhamento

4.1.1 Definição

Segundo Terzaghi (1996) a capacidade dos solos de suportar cargas depende da resistência de cisalhamento, que é definida pela máxima tensão que pode atuar no solo sem que haja ruptura, assim como a limitação das deformações excessivas.

De acordo com Vargas (1989) a resistência ao cisalhamento dos solos pode ser expressa pela equação de Coulomb, $\tau_R = c + \sigma_n \tan \phi$, em que τ é a máxima pressão cisalhante suportada pelo solo, σ_n é a tensão normal a que a superfície de ruptura está submetida, c é o intercepto de coesão ou coesão total do solo e ϕ é o ângulo de atrito interno do solo, definido como sendo o ângulo que a força normal faz com a resultante das forças que o maciço terroso está submetido. Esta equação define a envoltória de resistência, que é a linha-limite de resistência dos solos, ou seja, qualquer força cisalhante que esteja acima desta linha promoverá a ruptura do solo. Os parâmetros c e ϕ são características intrínsecas dos solos e se σ_n for nulo, a expressão $\sigma_n \tan \phi$ será nula e a resistência ao cisalhamento do solo será dependente apenas do intercepto coesivo.

4.1.2 Atrito

Vicieli (2003) diz que a resistência por atrito entre as partículas pode ser definida como uma força tangencial necessária para ocorrer o deslizamento de um plano, com outro plano paralelo a este. Essa força é também proporcional à força normal do plano. O ângulo formado entre a força normal e a resultante da força normal e tangencial é denominado de ângulo de atrito (ϕ), que é o ângulo máximo que a força cisalhante pode ter com a força normal ao plano sem que ocorra deslizamento.



Figura 1: A figura mostra as forças normal e tangencial, a força resultante entre a normal e tangencial, e o ângulo de atrito formado Fonte: Vicieli (2003).

Para Vicieli (2003) existe uma diferença entre as forças atuantes nas areias e nas argilas. Nas areias a força de contato é maior, fazendo com que haja uma expulsão da água da superfície e então permitindo o contato direto entre os grãos. Já nas argilas essa força não é suficiente para expulsar a água adsorvida pelas partículas, devido ao fato de que o número de partículas é muito maior que na areia, ficando assim a água como responsável por transmitir as forças.

4.1.3 Coesão

Segundo Pinto (2006) a resistência ao cisalhamento é devida essencialmente ao atrito dos grãos, porém a atração química dos grãos de solo consiste em uma parcela significativa da resistência em alguns tipos de solo. A compactação da massa de solo é outro aspecto que influencia no aumento do contato entre partículas, assim aumentando a resistência ao cisalhamento, diminuindo a permeabilidade e as deformações.

Segundo Pinto (2000) deve-se distinguir entre coesão aparente e coesão verdadeira. A coesão aparente é devida da pressão capilar da água contida no solo, e age como se fosse uma pressão externa. Já a coesão verdadeira é devida às forças eletroquímicas das partículas de argila e depende de vários fatores.

4.1.4 Critérios de ruptura

Conforme Gerscovich (2010) “a ruptura é um estado de tensões arbitrário, o qual é escolhido na curva tensão x deformação, dependendo do critério de ruptura escolhido”. Segundo Pinto (2000), os critérios que melhor refletem o comportamento do solo até a ruptura são os de Coulomb e Mohr:

Segundo Pinto (2000) o critério de Coulomb pode ser expresso como: não há ruptura se a tensão de cisalhamento não ultrapassar um valor dado pela expressão $c+f\cdot\sigma$, sendo c e f constantes do material e σ a tensão normal existente no plano de cisalhamento. Os parâmetros c e f são denominados respectivamente coesão e coeficiente de atrito interno, podendo este ser expresso como a tangente de um ângulo, denominado ângulo de atrito interno.

Para Pinto (2000) o critério de Mohr pode ser expresso como: não há ruptura enquanto o círculo representativo do estado de tensões se encontrar no interior de uma curva, que é a envoltória dos círculos relativos a estados de ruptura, observados experimentalmente para o material.

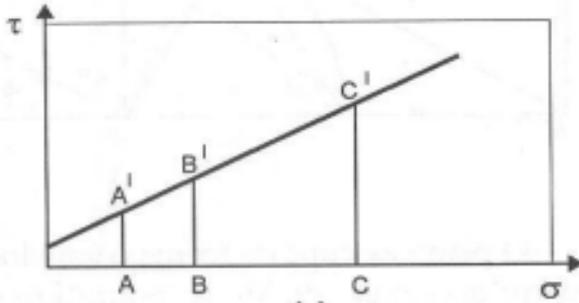


Figura 2: Representação do critério de ruptura de Coulumb. Fonte: Vicieli (2003).

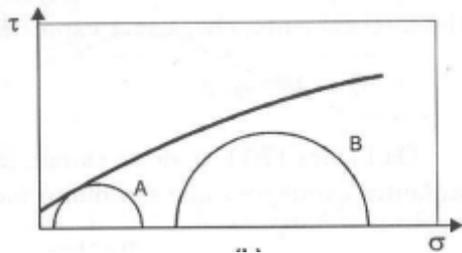


Figura 3: Representação do critério de ruptura de Mohr. Fonte: Vicieli (2003).

4.2 Ensaio de cisalhamento direto

Segundo Pinto (2000) o ensaio de cisalhamento direto baseia-se no critério de Coulumb e é caracterizado pela aplicação de uma tensão normal num plano e a verificação da tensão cisalhante que provoca a ruptura.

Segundo Vicieli (2003) “a tensão cisalhante pode ser representada em função do deslocamento no sentido do cisalhamento, como mostra a figura 4. Através da figura podem ser identificadas as tensões de ruptura, $\tau_{\text{máx}}$, e a tensão residual, τ_{res} , existentes no solo”.

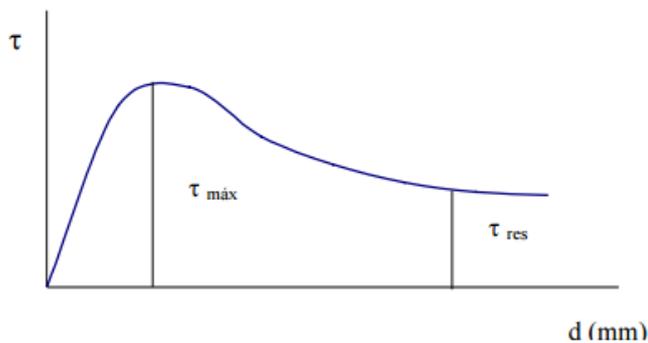


Figura 4: Representação de um ensaio de cisalhamento direto. Fonte: Pinto (2000) apud VICIELI (2014).

A partir da realização de ensaios consegue-se traçar um gráfico com as tensões de ruptura encontradas para cada tensão normal, obtendo a envoltória que nos dará os valores do ângulo de atrito interno e intercepto de coesão.

Caputo (1988), diz que o ensaio de cisalhamento direto consiste em determinar sob uma tensão normal qual a tensão de cisalhamento τ , capaz de provocar a ruptura de uma amostra solo colocada dentro de uma caixa composta de duas partes deslocáveis entre si (Fig. 6). Duas pedras porosas, uma superior e outra inferior, permitirão a drenagem da amostra. O ensaio pode ser executado sob "tensão controlada" ou sob "deformação controlada".

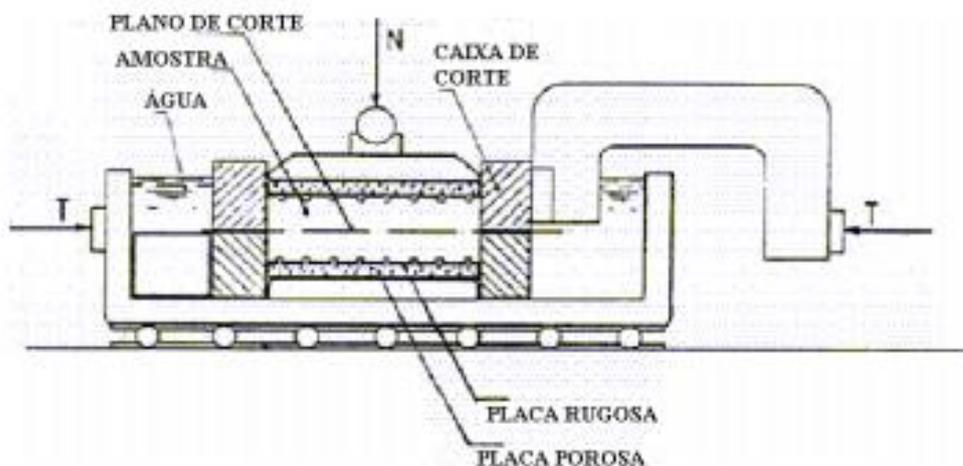


Figura 5: Esquema da caixa cisalhante da máquina de cisalhamento direto Fonte: Vicieli (2003).

4.3 Comportamento de alguns tipos de solo

4.3.1 – Solo Argiloso

ROSCOE; SCHOFIELD; WHOTH (1958) apud BOEHL (2011) caracterizam argilas puras por possuir água em suas partículas, gerando a partir disso uma coesividade argilo-mineral entre as partículas provenientes das forças de atração físico-químicas do campo de atratividade e repulsão coloidal. Apresentam-se em condições não drenadas e em deformações plásticas. Segundo Terzaghi as argilas possuem um mecanismo básico, onde assumem uma dependência de tensões e da consistência.

4.3.2 – Solo Arenoso

ODA; KONISHI (1974) apud BOEHL (2011) definem as areias puras como materiais em que suas propriedades dependem do atrito interno, arranjo espacial, entrosamento e rolamento de partículas, se comportando fisicamente sobre condições drenadas e deformações elásticas independentes do tempo. Segundo Terzaghi as areias assumem um modelo físico que dependem da densidade e da compactidade.

4.3.3 – Solos residuais basálticos

Santos (1997) apud BOEHL (2011) diz que os perfis residuais são heterogêneos, anisotrópicos e imprevisíveis com grande variabilidade mineral e condições físicas. Bishop (1972) definiu o solo coesivo estruturado, como aquele em que as forças de união interpartículas, contribuem significativamente no comportamento físico-mecânico do solo.

Para Cruz (1996) apud BOEHL (2011) os solos da Região do Alto Uruguai possuem características associadas aos solos argilosos, heterogêneos com alto teor de umidade natural e comportamento francamente não-drenado.

Segundo Boehl (2011) são constituídos basicamente por solos lateríticos de clima tropical à subtropical com forte influência de intemperismo químico, característico de áreas bem drenados e predominância da fração argilo-siltosa,

estruturados por agentes cimentantes, provavelmente devido à presença de óxidos de alumínio e ferro como material aglutinador .

Boehl (2011) enuncia que os solos residuais de basalto caracterizam-se granulometricamente por serem argilas siltosas ou siltes-argilosas com significativo aumento da fração granular em direção à rocha mãe. Apresentando-se mecanicamente sobre condições não drenadas e deformações plásticas dependente do tempo. Possuem como mecanismo, uma dependência básica da história de tensões e da consistência.

Boehl (2011) comenta que “os solos residuais são muito influenciados pelo fenômeno de transporte de partículas como a iluviação, lixiviação e argilização”.

Para Boehl (2011) “a coesão existente nesses solos é devida a coesão verdadeira, mas também a uma fração significativa da coesão aparente”.

Segundo Diemer et al. (2008), Na região de Ijuí, os perfis de solos são homogêneos, classificados pedologicamente como latossolos havendo pouca diferenciação entre os horizontes, que apresentam as seguintes características morfológicas principais:

- Horizonte A: espesso (varia de 30 a 60cm aproximadamente), de coloração avermelhada escura, argiloso (mais de 60% de argila), com estrutura desenvolvida granular ou em blocos subangulares, poroso, friável, ligeiramente plástico e pegajoso (DIEMER et al. 2008);
- Horizonte B: muito espesso (mais de 200cm), de coloração vermelha escura, argiloso (com mais de 75% de argila), pouco estruturado, poroso, friável, ligeiramente plástico e pegajoso quando o material for muito trabalhado (DIEMER et al. 2008);
- Horizonte C: a mais de 200 cm de profundidade, é espesso e composto por basalto intemperizado, possuindo maior teor de silte (DIEMER et al. 2008).

Para Diemer (2008) a resistência ao cisalhamento dos solos residuais depende de um complexo mecanismo de resistência, diretamente vinculado às parcelas mobilizadas pelas cimentações entre partículas, pelo ângulo de atrito interno, pela coesão aparente e verdadeira dos solos.

Nas tabelas 1 e 2 segue uma síntese dos principais estudos desenvolvidos até o momento de solos semelhantes ao solo do trabalho e condições análogas de ensaio. Onde é apresentada uma breve revisão bibliográfica de autores que fizeram pesquisas em solos residuais. Nestas tabelas são apresentados dados referentes à granulometria, índices físicos, limites de Atterberg e parâmetros de resistência ao cisalhamento de solos semelhantes aos solos deste trabalho.

Tabela 1: Síntese de trabalhos análogos

Autor	Granulometria	ρ	w	γ_s	Sr	e
BERNARDI (2006)	71,43% C; 12,17% M, 16,4% s; 0% G	2,825	-	-	-	
BONAFÉ (2004)	85% C; 10% M; 5% S; 0% G	2,852	-	-	-	
SANTOS, SPECHT, PINHEIRO, (2016)	68,00% C; 19,00% M; CH	-	-	28,09	-	-
DIEMER, et al., (2008)			30,93	28,11	55,62	1,56
MENEGOTTO et al., (2016)	79,00 C; 13,00% M; 8,00% S. MH, z=0,5m	2,752	28%	-	-	1,6
GUTIEREZ, NOBREGA, LUIZ (2015)	Horizonte B	3,02	32%	11,13	54%	1,9
GUTIEREZ, NOBREGA, LUIZ (2015)	Horizonte C	2,925	49%	11,24	80%	1,63

Tabela 2: Síntese de trabalhos análogos (continuação da tabela 2)

Autor	IP	LL	IA	c	ϕ
BERNARDI (2006)	24,36	60,5	0,38	21,7	31,2
BONAFÉ (2004)	11,97	59	0,14	15,8	24,27
SANTOS, SPECHT, PINHEIRO, (2016)	31	56	-	48,85	34,8
DIEMER, et al., (2008)	14	61		6,68	23,6
MENEGOTTO et al., (2016)	24	54	0,17	9	34,5
GUTIEREZ, NOBREGA, LUIZ (2015)	18	57	0,28	20	29,5
GUTIEREZ, NOBREGA, LUIZ (2015).	29	78	0,55	70	24

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Área de estudo

As amostras foram coletadas no Campus universitário da UFFS, localizado no município de Erechim-Rs. Esta cidade localiza-se ao Norte do Rio Grande do Sul, na região do Alto Uruguai, sobre a cordilheira da Serra Geral, e situada a 783m acima do nível do mar, latitude 27°83'3" sul e longitude 52°16'26" oeste (PMSB, 2014).

Mais especificamente, a coleta do material foi realizada no ponto 2 conforme a figura 7, localizado na Universidade Federal da Fronteira Sul – Campus Erechim, às margens da BR 135, situado nas coordenadas S 27°43'37.3" e W 052°16'58.3", com altitude de 774m, conforme a figura 7.

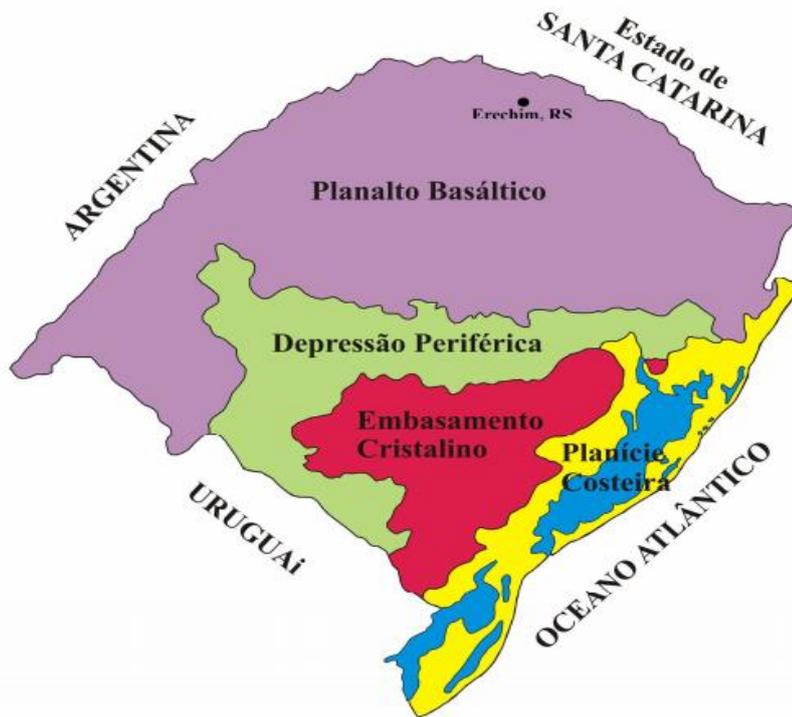


Figura 6: Representação das províncias geológicas e geomorfológicas do estado do RS. Fonte: (UFRGS, 2010). Disponível em: <http://www.ufrgs.br/paleotecas/RioGrandedoSul.htm>



Figura 7: Representação do ponto de coleta e croqui do ponto de amostra. Fonte: GOOGLE MAPS.

5.2 Caracterização da área estudada

Segundo BIGARELLA, LEPREVOST; BOLSANELLO (1985) apud BOEHL (2011) geologicamente, a região de pesquisa está localizada na formação Serra Geral, na Bacia do Paraná, onde há ocorrência de derrames eruptivos do período Fanerozóico, era Mesozóica e período juro-cretáceo (65-203 Ma), formando uma série de sobreposições de camadas de basaltos, andesitos, dacitos, riodacitos à riolitos, intercalações de leitos arenosos e conglomeráticos com arenitos eólicos intraderrames (DNPM, 1989). Mais especificamente, estas formações, são reconhecidas, litologicamente por Grupo São Bento “JKsg, α ”, Formação Serra Geral, Efusivas básicas, continentais, toleíticas, comumente basaltos e fenobasaltos. Normalmente, capeando as efusivas básicas, ocorre uma sequência de rochas de composição ácida (α), constituída por riolitosfelsíticos, riodacitosfelsíticos, dacitosfelsíticos e seus correspondentes em termos vítreos (DNPM, 1989). Os solos da região do Alto Uruguai são essencialmente formados através de processos residuais sobre a formação basáltica.

O relevo é suave em direção ao Rio Uruguai e mais acidentado no sentido contrário ao deslocamento das águas (PMSB, 2014). A altitude no planalto chega até 500 a 700 metros, havendo vales profundos e de encostas íngremes de 100 a 300 metros (PMSB, 2014).

Para Strehl (2016), este solo é naturalmente estruturado, principalmente devido à presença de argilo-minerais, identificados como halositas hidratadas, constituídos basicamente de argilas-siltosas e siltes-argilosas com areia.

Estes solos oriundos desta suíte são residuais e são constituídos basicamente por solos lateríticos de clima tropical à subtropical com forte influência do intemperismo químico, característico de áreas bem drenadas e predominância da fração argilo-siltosa, estruturados por agentes cimentantes, provavelmente devido a presença de óxidos de alumínio e ferro como material aglutinador (DIEMER et al., 2008). Geotecnicamente estes solos apresentam boa capacidade de suporte, permeabilidade de baixa à intermediária e alto risco de erosão devido aos relevos acidentados, apesar de argilosos. Quando compactados tendem a melhorar sua capacidade de suporte e reduzir a permeabilidade significativamente (DIEMER et al., 2008).

5.3 Índices físicos do solo

A tabela 3, que segue abaixo apresenta resultados médios dos índices físicos determinados para o solo do trabalho.

Tabela 3: Resultados médios dos índices físicos do solo no ponto coletado.

Parâmetros	In situ
w	36,9%
γ_{nat} (kN/m ³)	14,55
γ_s (kN/m ³)	10,6
γ_g (kN/m ³)	27,50
e	1,55
Sr	65,00%

As tabelas a seguir apresentam os resultados obtidos de distribuição granulométrica (tabela 4), e limite de Atterberg (tabela 5) do solo do ponto coletado. Esses resultados foram retirados de BOEHL, et al.(2016), que pesquisaram o solo no mesmo ponto, sobre as mesmas condições.

Tabela 4: Resultados de distribuição granulométrica

Propriedades Físicas	Resultados
Argila	61,82%
Silte	29,65%
Areia Fina	5,38%
Areia Média	1,57%
Areia Grossa	1,46%
Pedregulho Fino	0,12%

Fonte: BOEHL, et al. (2016).

Tabela 5: Resultados dos limites de Atterberg

Parâmetros	Valor
Limite de Liquidez (LL)	56%
Limite de Plasticidade (LP)	50%
Índice de Plasticidade (IP)	6%
Índice de Atividade (IA)	0,1

Fonte: BOEHL, et al. (2016).

Strehl (2016), ainda traz, que a classificação deste solo é MH - solo siltoso de alta compressibilidade e média plasticidade, segundo o ábaco de Casa-Grande, o que não é corroborado pelos resultados da análise granulométrica, que revela um Solo Argilo-siltoso com pouco de areia. Não obstante, a análise tátil-visual e a granulometria apresentam indicação de forte estrutura natural coesiva, principalmente devido à presença de argilo-minerais. De acordo com classificação rodoviária, o solo foi enquadrado como sendo A – 7 – 5, solos argilosos, onde mais de 35 % passa pela peneira 200#.

5.4 Equipamento de cisalhamento direto

O ensaio de cisalhamento direto foi realizado com um equipamento eletrônico, da marca PAVITEST fabricado pela CONTENCO, controlado por software (Manual do Usuário...).

O equipamento possui dispositivo servo controlado acoplado a um redutor de velocidade com capacidade de aplicação de carga cisalhante de até 500 kgf e medição de força realizada através de célula de recarga (Manual do Usuário...).

A velocidade de deslocamento varia de 0,0002 a 12 mm/min e é ajustado pelo software operacional através de comando na tela do micro computador (Manual do Usuário...).

O sistema de aplicação de tensões normais, com capacidade de até 10 kgf/cm² para os corpos de prova de 4" x 4" e de até 40 kgf/cm² para os corpos de prova de 2"x2", é realizado através da colocação de pesos em pêndulo e/ou braço de alavanca para multiplicação das cargas e obtenção das tensões desejadas (Manual do Usuário...).

Possui sistema computadorizado para cadastramento de amostras e corpos de prova, aquisição e armazenamento de dados, traçados de gráficos e emissão de relatórios (Manual do Usuário...).

O equipamento é capaz de realizar ensaios: ensaio rápido; ensaio rápido adensado; ensaio rápido adensado saturado; ensaio lento, adensado; e ensaio lento, adensado, saturado (Manual do Usuário...).

Segue abaixo os conjuntos funcionais assim como as informações contidas no manual do equipamento marca CONTENCO:

- 1) **Conjunto do comando elétrico e ajuste mecânico (E):** composto pelo painel de comando elétrico, chave geral, lâmpada piloto, botão de emergência, volante de avanço/retorno manual rápido e plano de trava (MANUAL DO USUÁRIO...).
- 2) **Conjunto da célula de ensaio (B):** composto pela célula de bipartida superior, célula de partida inferior, vazadores e tarugo de madeira (MANUAL DO USUÁRIO...).
- 3) **Conjunto da carga normal:** composto por um pêndulo, um transdutor de deslocamento (F1), por hastes verticais com pratos (C), braço multiplicador de carga normal (C), dispositivo ajustador de nível do braço, dispositivo para apoio do braço multiplicador de carga (D), pesos (MANUAL DO USUÁRIO...).
- 4) **Conjunto do sistema de cisalhamento:** composto por uma caixa de cisalhamento deslizante (A), trilho com 4 pastilhas de esferas, transdutor de deslocamento (B1), célula de carga (B), dispositivo de segurança de avanço (MANUAL DO USUÁRIO...).
- 5) **Conjunto do sistema de aquisição de dados (E):** formado por um sistema de conversão de dados analógicos para digitais, com comunicação serial, da célula de carga e dos transdutores de deslocamento. Os equipamentos encontram-se alojados sob a carenagem do gabinete localizado na coluna da esquerda da prensa (MANUAL DO USUÁRIO...).
- 6) **Conjunto operacional (E):** composto por um micro computador, um software operacional, manual de software operacional contendo informações para utilização e o manual do usuário CONTENCO com informações sobre o equipamento (MANUAL DO USUÁRIO...).

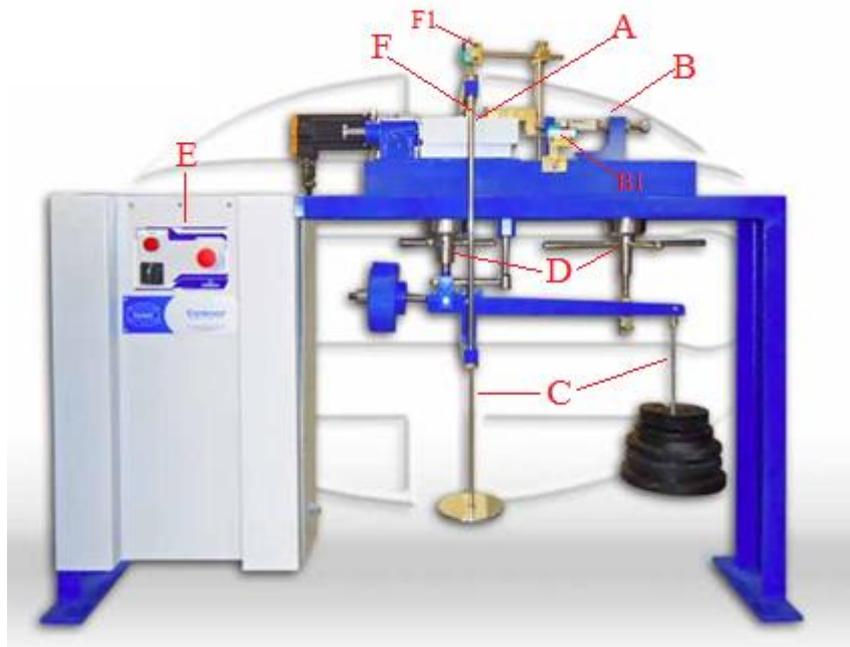


Figura 8: Imagem ilustrativa do equipamento de cisalhamento direto em solos marca PAVITEST. Fonte: (Manual do usuário...).

5.5 Ensaio de cisalhamento

A partir de blocos de amostras indeformadas coletadas em campo (Figura 9), moldaram-se os corpos de prova com o auxílio de um molde metálico de dimensões 10,15 cm x 10,15 cm x 1,98 cm, mostrado na figura 10.



Figura 9: Coleta de amostra em campo.

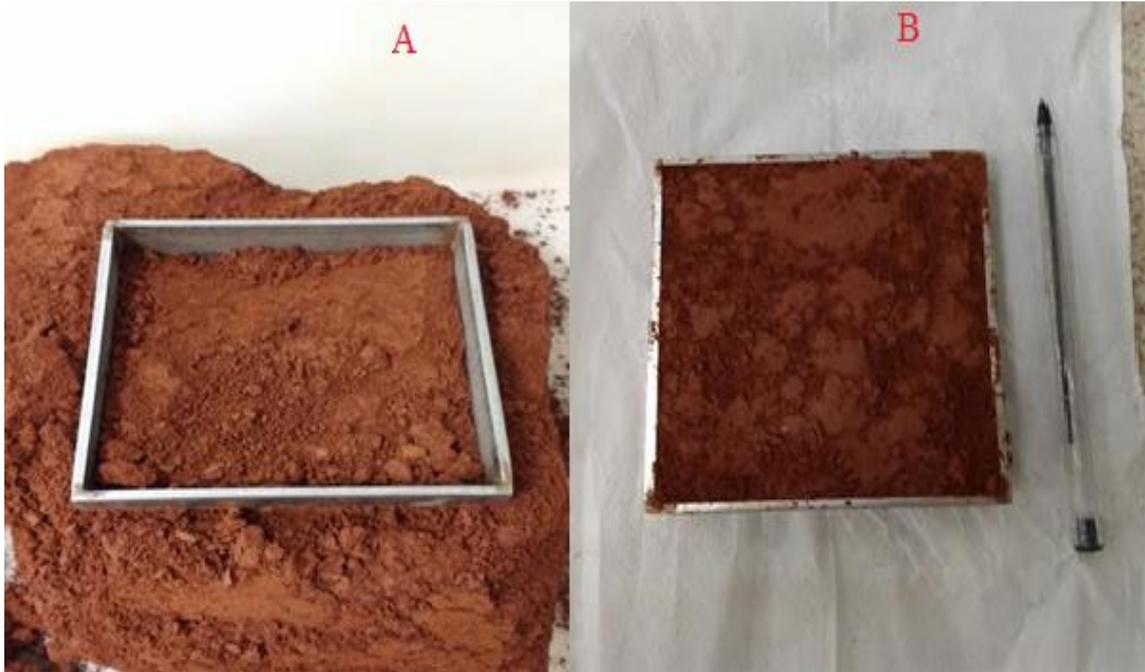


Figura 10: Moldando o corpo de prova em laboratório (A). Amostra moldada no corpo de prova metálico (B).



Figura 11: Amostra alocada na caixa de cisalhamento.

Os ensaios foram realizados em condições inundadas. Na condição inundada a amostra contida na caixa de cisalhamento (Figura 10) é mantida submersa em

água após ser colocada na prensa de ensaio durante no mínimo 48 horas, esta etapa denomina-se consolidação. Este procedimento de inundação da amostra, durante a consolidação retira parcialmente a coesão aparente. O ensaio foi lento com velocidade de cisalhamento adotada de 0,036mm/min, para garantir que não houvesse presença significativa de poro-pressão, apesar do ensaio ser realizado em condições drenadas durante a fase de ruptura, condição esta característica do equipamento. Foram ensaiados três corpos de provas, com as seguintes tensões normais: 50, 100 e 200 kPa, estas tensões foram escolhidas por serem representativas de carregamentos comuns nas obras geotécnicas.

5.6 Determinação dos parâmetros de cisalhamento

A determinação da resistência do solo ao cisalhamento é feita por meio dos parâmetros intercepto coesivo (c) e ângulo de atrito interno do solo (ϕ), cujos valores variam consideravelmente de acordo com o teor de umidade, tamanho das partículas, preparo do solo, dentre outros (TERZAGHI et al., 1996). Segundo Terzaghi et al. (1996), esses dois parâmetros podem ser estimados pela equação empírica de Coulomb $\tau_R = c + \sigma_n \text{tg } \phi$, em que τ_R é a tensão cisalhante (kPa), c é o intercepto de coesão (kPa), σ_n é a tensão normal (kPa) e $\text{tg } \phi$ é o coeficiente de atrito, cujo arco tangente é o ângulo de atrito interno do solo.

A partir dos valores de tensão normal (kPa) adotados “versus” os valores de tensão cisalhante (kPa) obtidos em ensaio traça-se a reta de Coulomb, da onde são retirados os valores dos parâmetros de cisalhamento. O intercepto coesivo é encontrado a partir do alongamento da reta de Coulomb até o eixo y do gráfico, eixo da tensão cisalhante, o valor encontrado no momento em que o prolongamento interceptar o eixo y é o valor do intercepto coesivo. O valor do ângulo de atrito interno é encontrado traçando uma reta na direção horizontal a reta de Coulomb encontrada, o ângulo formado entre as duas retas é definido como o ângulo de atrito interno do solo.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Ensaio de cisalhamento direto

Na tabela abaixo segue uma síntese dos dados obtidos durante o ensaio de cisalhamento direto para os corpos de prova CP1 (50kPa), CP2 (100kPa), CP3 (200kPa) e respectivas tensões confinantes na ruptura.

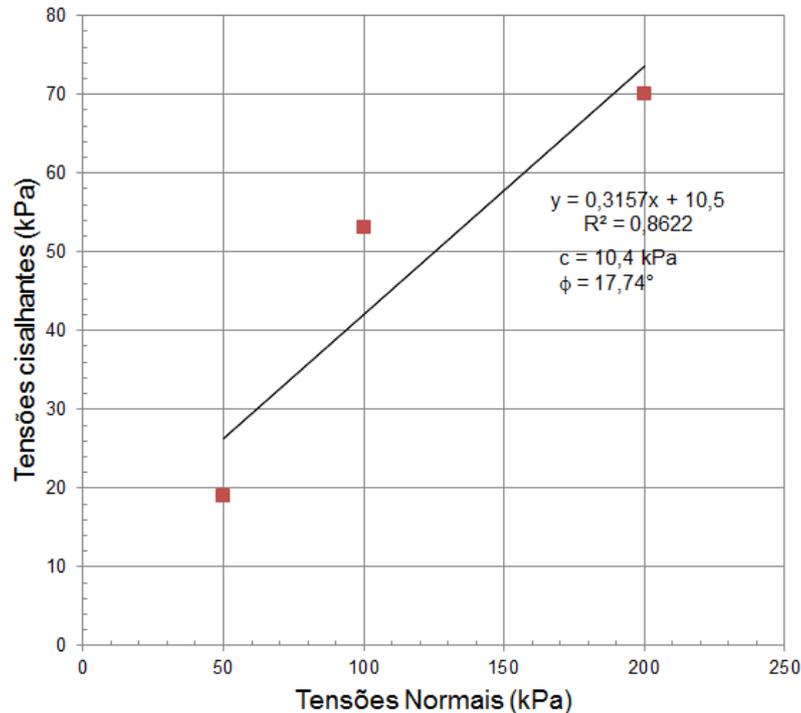
Tabela 6: Valores de tensão cisalhante, deslocamento horizontal e força normal aplicadas no ensaio de cisalhamento direto.

	τ_R (Kgf/cm ²)	ΔH (mm)	σ_N (Kgf/cm ²)
CP1	0,19	8,4	0,5
CP2	0,53	2,1	1
CP3	0,70	1,3	2

As respectivas curvas Tensão cisalhante (kgf/cm²) x Deslocamento Horizontal (mm) obtidas no ensaio, através do software operacional do equipamento, encontram-se nos anexos A, B e C.

A partir dos valores de tensões normais aplicadas e valores correspondentes das tensões de cisalhamento máximas medidas determinaram-se a reta de resistência na ruptura seguindo o critério de Coulomb, conforme o gráfico 1.

Gráfico 1: Reta que representa a resistência ao cisalhamento do solo inundado segundo o critério de Coulomb e os parâmetros de cisalhamento.



O valor obtido, neste trabalho, para o intercepto coesivo foi de 10,4 kPa e para o ângulo de atrito interno foi de 17,74°, nas condições naturalmente estruturadas, consolidadas e inundadas.

Os valores encontrados como parâmetros de resistência ao cisalhamento situam-se dentro da faixa de valores médios esperados, para um solo residual argilo-siltoso oriundo de rocha matriz basáltica. Esta afirmação fica comprovada, quando comparados os valores obtidos neste trabalho, com os valores obtidos por outros pesquisadores, constantes em síntese, na tabela 1 e 2, nas páginas 24 e 25. Mais especificamente, o valor do intercepto coesivo obtido neste trabalho é de 10,4 kPa, e os valores médios obtidos por outros pesquisadores, para solos semelhantes, variam entre uma faixa de 9-70 kPa. Notadamente é possível observar que o intercepto coesivo obtido neste trabalho de 10,4 kPa, aproxima-se mais em grandeza, dos valores obtidos por Menegotto (2016) de 9 kPa e de Bonafé (2004) de 15,8 kPa. Em termos de natureza das partículas e de plasticidade, o solo estudado neste trabalho, possui 61,82% de argila, 29,65% de silte com índice de plasticidade

de 6%. Constata-se que dos solos citados na tabela 1, tabela referência em forma de síntese, o solo estudado neste trabalho, possui maior afinidade com os solos estudados por Menegotto (2016) e Bonafé (2004), de acordo com os seguintes resultados: Menegotto, obteve 79% de argila, 13% de silte e índice de plasticidade igual a 11,97; Bonafé, encontrou 85% de argila, 10% de silte e índice de plasticidade igual a 24. Da mesma forma, analisando o contexto exposto, em termos de natureza granulométrica das partículas e plasticidade pode-se evidenciar que existem fortes semelhanças entre estes dois solos pesquisados por Menegotto (2016) e Bonafé (2004) e o solo residual pesquisado neste trabalho. A semelhança entre a quantidade da fração argilo-mineral e siltosa, não é igual entre os solos comparados, porém muito próxima, fato que corrobora, a proximidade entre os valores de interceptos coesivos obtidos.

Observa-se uma discrepância entre o ângulo de atrito interno de $17,74^\circ$ e os valores obtidos pelos trabalhos comparados que se distribuem em uma faixa entre $23,6$ até $34,8^\circ$. Mais especificamente, na comparação da fração granulométrica de origem granular, areias e pedregulhos, dos solos estudados por Menegotto (2016) 5% e Bonafé (2004) 8%, com o solo estudado, que é de 8,53%, observa-se uma aproximação entre valores.

Por outro lado, percebe-se, que o valor obtido neste trabalho de $17,74^\circ$, para o ângulo de atrito interno é menor do que os valores obtidos por Menegotto (2016) e Bonafé (2004) que é de $31,2^\circ$ e 24° . Esta discrepância não é explicada com facilidade, pois a menor quantidade de argila e maior quantidade de siltes existentes no solo pesquisado neste trabalho, 61,82% argila e 29,65% de silte, deveria aumentar o ângulo de atrito interno e não reduzir este parâmetro, quando comparado aos valores dos solos encontrados por outras pesquisas, como observa-se nas tabelas síntese 1 e 2, visto que para este solo e os solos comparados, ocorre uma aparência de fração granular na massa de solo (areias e pedregulhos).

Assim sendo, com o exposto pode-se evidenciar, o comportamento muitas vezes anômalo e imprevisível, dos solos argilo-siltosos de origem residual, que costumam não repetir comportamentos, mesmo quando possuem rocha matriz similar, e são ensaiados sob as mesmas condições físicas. Estes solos tornam-se muitas vezes imprevisíveis comportamentalmente, principalmente quando observados sobre a ótica do arcabouço sólido sedimentar clássico já consagrado no meio técnico. Estas evidências contribuem, para a conscientização do meio técnico,

da grande variabilidade dos dados obtidos para solos residuais e da necessidade da realização de ensaios de laboratório, como o cisalhamento direto, por exemplo, para a obtenção de dados representativos em termos de resistência ao cisalhamento para os solos residuais.

7. CONCLUSÃO

A partir da amostragem indeformada realizada em campo, os ensaios propostos para a pesquisa foram realizados de forma satisfatória em laboratório.

Através do ensaio de cisalhamento direto em amostra indeformada e inundada, obteve-se como parâmetros de resistência ao cisalhamento o valor para o intercepto coesivo igual a 10,4 kPa e ângulo de atrito interno de 17,74°.

Apesar do fato do valor do ângulo de atrito interno não se situar dentro da faixa comparativa dos estudos análogos apresentados no trabalho, e não podendo explicar essa discrepância com facilidade, devido as maiores percentagens de argila e silte tenderem a aumentar o ângulo de atrito, acredita-se que devido ao fato de existirem poucos estudos referentes aos parâmetros de cisalhamento de solo residual basáltico na Região Norte do Rio Grande do Sul, a obtenção desses parâmetros é um grande avanço para este tipo de pesquisas.

Diante dos resultados, conclui-se que o comportamento dos solos residuais é particular e imprevisível, mesmo quando possui características similares, não repete comportamentos, fazendo-se necessários inúmeros ensaios de laboratórios para obtenção de dados para que se possa ter um melhor entendimento do comportamento do solo.

A vista disso recomenda-se para futuras pesquisas a realização de novos ensaios de cisalhamento direto, para a obtenção de dados representativos em termos de resistência ao cisalhamento para os solos residuais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNARDI, Juarez. **CARACTERIZAÇÃO DE JAZIDAS DE SOLO RESIDUAL DE BASALTO VISANDO SEU EMPREGO EM BARRAGENS DE TERRA Ijuí/RS**. 2006. 159 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Tecnologia, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2006.
- BISHOP, A. W. **Shear strength parameters for undisturbed and remoulded soil specimens**. In **Stress-strain behaviour of soils**, pp. 3- 58 (ed. R. H. G. Parry). London. 1972.
- BOEHL, P. E. G. **Algumas observações sobre as propriedades geotécnicas de solos estruturados derivados de granito da Grande Florianópolis**. [dissertação] / Pedro Eugenio Gomes Boehl; orientador, Marciano MacCarini. - Florianópolis, SC, 2011, 228p.
- BOEHL, Pedro Eugênio Gomes et al. **Parâmetros Geotécnicos de um solo Residual basáltico da Região do Alto Uruguai/RS**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 18., 2016, Belo Horizonte. **Artigo**. Belo Horizonte: Abms, 2016. p. 11-22.
- BONAFÉ, Leandro. **Estudo da resistência de um solo residual de basalto estabilizado e reforçado**. 2004. 101 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Tecnologia, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2004.
- CAPUTO, Homero Pinto. **MECÂNICA DOS SOLOS E SUAS APLICAÇÕES: MECÂNICA DOS SOLOS - E SUAS APLICAÇÕES Fundamentos**. 6. ed. Rio de Janeiro, R: L Tc Editora S.a., 1988. 244 p. Disponível em: <<https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2015/05/mecanica-solos-fundamentos-vol1-6ed-caputo.pdf>>. Acesso em: 05 set. 2016.
- CONTENCO. Manual do usuário. **Equipamento para ensaios de cisalhamento direto em solos**. São José da Lapa. MG.
- DIEMER, Francielle et al. **Propriedades geotécnicas do solo residual de basalto da região de Ijuí/RS**. 2008. Universidade regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, Ijuí, RS. Disponível em: http://www.editoradunas.com.br/revistatpec/Art3_N12.pdf. Acesso em 19 maio 2017.
- ENTAAL. **Plano Municipal de Saneamento Básico**. Erechim: ENTAAL, 2014, 31p.
- GERSCOVICH, D. M. S. **Estruturas de Contenção – Muros de Arrimo**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.
- GUTIERREZ, N. H. M.; NOBREGA, M.T.; LUIZ, A. M. F. **Características e comportamentos geotécnicos de áreas sobre basalto: O caso de Maringá- PR**. In: GEOSUL 2015. X Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul Maringá – PR, 17-19., 2015, Maringá. **Artigo**. Maringá: Abms, 2015. P. 17-19.
- MENEGOTTO, Leandro Mauro et al. **Caracterização Geotécnica Preliminar do Solo da Área Experimental da UFFS – Campus Chapecó**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 18., 2016, Belo Horizonte. **Artigo**. Belo Horizonte: Abms, 2016. p. 1-8..
- OLIVEIRA, C. P. **COMPORTEAMENTO MECÂNICO DE UM SOLO RESIDUAL NATURALMENTE CIMENTADO**. . 2011. 139 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de

Viçosa, Viçosa, Minas Gerais. 2011. Disponível em:
<<http://locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/826/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 22 jun. 2017.

PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos- 3ª edição**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 367p.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas/Carlos de Sousa Pinto**. – São Paulo: Oficina de Textos, 2000-02-15.

R.B. SILVA et al. **RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE UM LATOSSOLO SOB DIFERENTES USO E MANEJO**. 2004. 173 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências do Solo, Ufla, Lavras, 2002. Cap. 28. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v26n2/02.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2016.

SALA, Mariana. **CARACTERIZAÇÃO DO SOLO RESIDUAL DE BASALTO ENCONTRADO NA ZONA URBANA DO MUNICÍPIO DE IJUÍ VISANDO SEU EMPREGO EM ESTUDOS DE FUNDAÇÕES**. 2007. 148 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Departamento de Tecnologia, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2007. Disponível em: <<http://www.projetos.unijui.edu.br/petegc/wp-content/uploads/2010/03/TCC-Mariana-Sala.pdf>>. Acesso em: 22 jun. 2017.

SANTOS, T. A.; SPECHT, L. P.; PINHEIRO, R. J. B. **Caracterização física e mecânica dos solos usualmente empregados em subleitos rodoviários no Rio Grande do Sul**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 18, 2016, Belo Horizonte. **Artigo**. Belo Horizonte: Abms, 2016. p. 19-22.

STREHL, M. J. **AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE UM SOLO DO CAMPUS ERECHIM-RS ATRAVÉS DOS ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO TIPO PROCTOR**. 2016. 48 F. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, 2016.

TERZAGHI, K., **Theoretical Soil Mechanics**, John Wiley and Sons, New York, 510 p., 1943.

TERZAGHI, K.; PECK, R.B. **Soil Mechanics in Engineering Practice**, John Wiley and Sons, New York, 566 p., 1948.

VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos**. São Paulo, McGraw-Hill, 1989. 509p.

VIECILI, Cristiano. **DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA DO SOLO DE IJUÍ A PARTIR DO ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO**. 2003. 76 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Tecnologia, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2003. Disponível em: <<http://projetos.unijui.edu.br/petegc/wp-content/uploads/2010/03/TCC-Cristiano-Viecili.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2016.

ZANARDO, Bruno Felipe. **Análise de Estabilidade de Taludes de Escavação em Mina de Bauxita**. 2014. 38 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Alfenas, Campus Poços de Caldas, 2014.

Anexo A - Relatório de ensaio de cisalhamento direto CP1



RELATÓRIO DO ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO

Dados Cadastrais da Amostra

Nome da Amostra: A1-CP1-MATTE
Número Programa: 1
Número da Amostra: 1
Data do Ensaio: 27, março de 2017
Tipo Ensaio: Ensaio lento, adensado, saturado
Condição Moldagem: Cravação

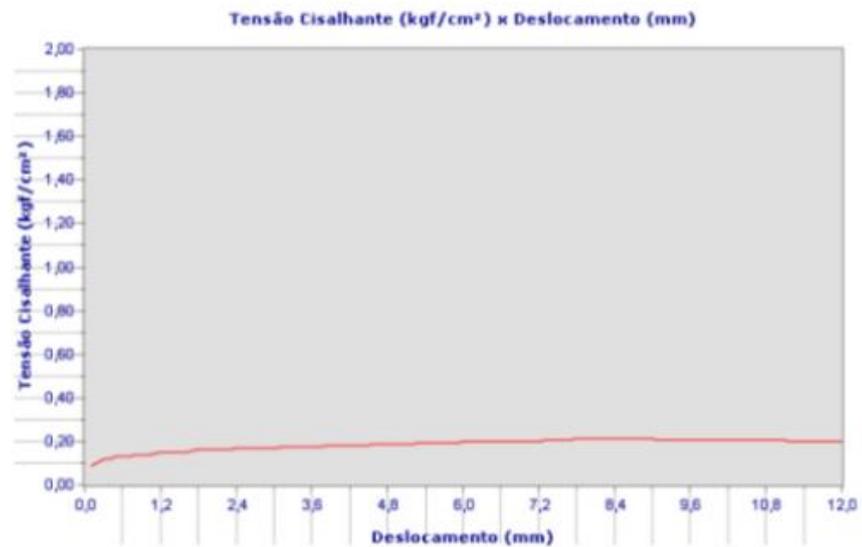
Dados Cadastrais do Corpo de Prova

Número do CP: 5
Tensão Normal: 0,50(kgf/cm²)

Resultado do Ensaio

Tensão Cisalhante: **0,21(kgf/cm²)**

Gráfico do Ensaio Realizado



Anexo B - Relatório de ensaio de cisalhamento direto CP2



RELATÓRIO DO ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO

Dados Cadastrais da Amostra

Nome da Amostra: A1-CP2-MATTE
Número Programa: 1
Número da Amostra: 2
Data do Ensaio: 29, março de 2017
Tipo Ensaio: Ensaio lento, adensado, saturado
Condição Moldagem: Cravação

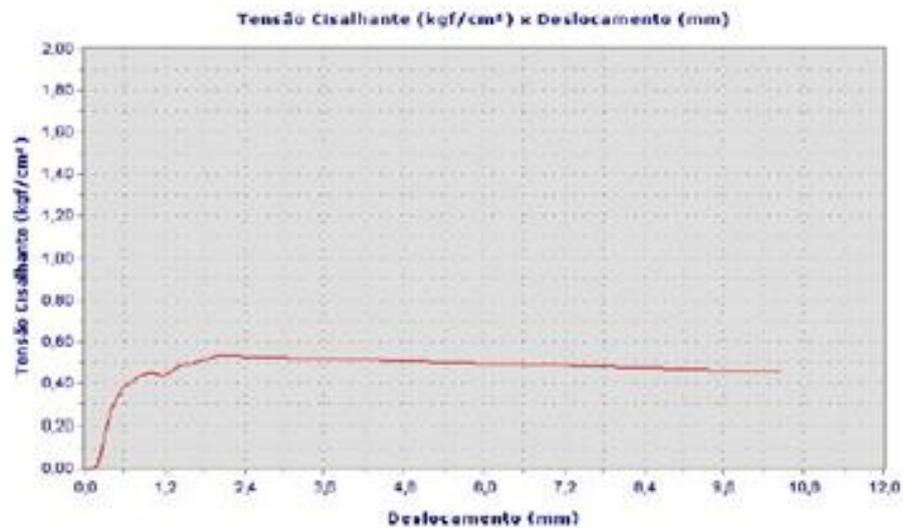
Dados Cadastrais do Corpo de Prova

Número do CP: 3
Tensão Normal: 1,00(kgf/cm²)

Resultado do Ensaio

Tensão Cisalhante: 0,53(kgf/cm²)

Gráfico do Ensaio Realizado



Anexo C – Relatório de ensaio de cisalhamento direto CP3



RELATÓRIO DO ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO

Dados Cadastrais da Amostra

Nome da Amostra: CP4 - MATTE
Número Programa: 1
Número da Amostra: 4
Data do Ensaio: 19, abril de 2017
Tipo Ensaio: Ensaio lento, adensado, saturado
Condição Moldagem: Cravação

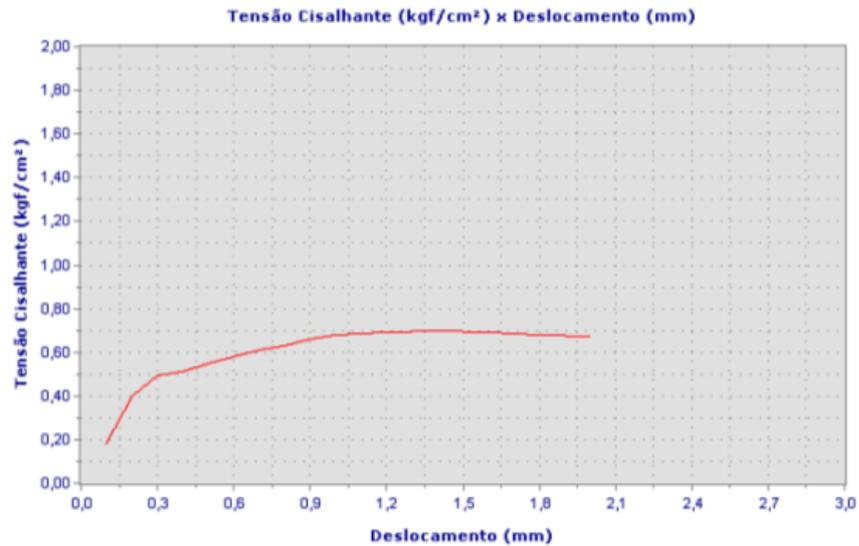
Dados Cadastrais do Corpo de Prova

Número do CP: 4
Tensão Normal: 2,00(kgf/cm²)

Resultado do Ensaio

Tensão Cisalhante: 0,70(kgf/cm²)

Gráfico do Ensaio Realizado



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS ERECHIM
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**DETERMINAÇÃO PRELIMINAR DOS PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA AO
CISALHAMENTO DE UM SOLO RESIDUAL DO CAMPUS UFFS – ERECHIM/RS**

Acadêmico de Engenharia Ambiental e Sanitária Felipe Matté

Prof. M.Sc. Pedro Eugênio Gomes Boehl